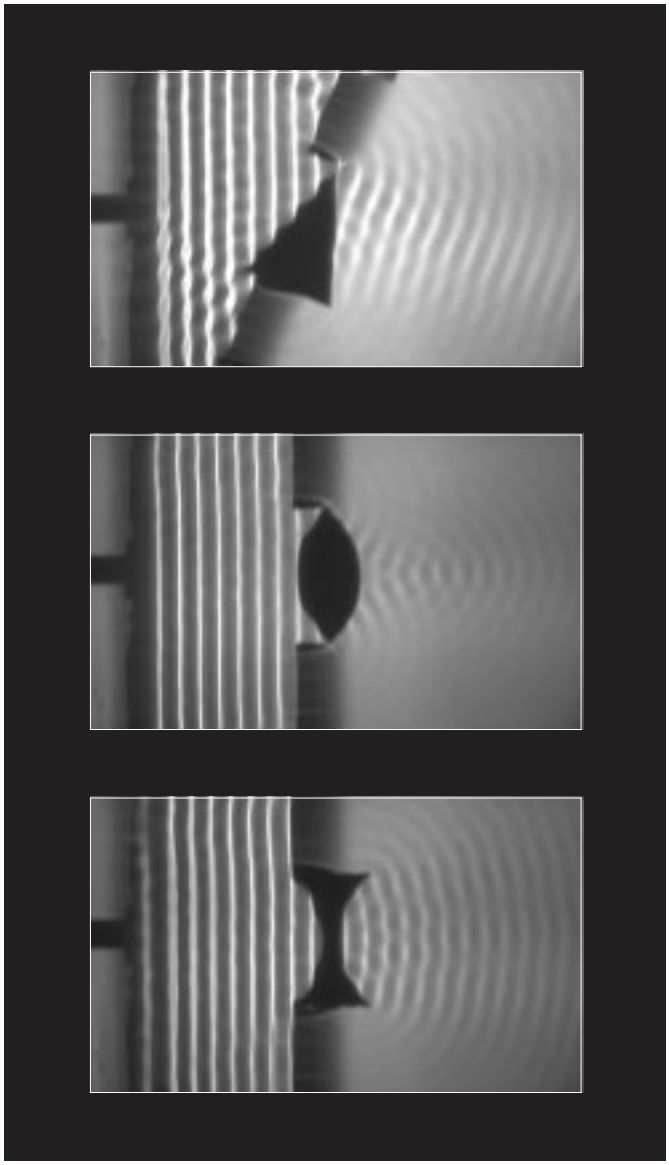
Réfraction des ondes à la surface de l'eau

Objectifs expérimentaux

- observation du changement de la direction de propagation d'ondes à la surface de l'eau rectilignes lors du passage d'une zone à une autre de profondeur différente (au corps à faces planes et parallèles)
- comparaison du changement des directions de propagation et des longueurs d'ondes des ondes à la surface de l'eau lors du passage d'une zone à une autre de profondeur différente, et confirmation de la loi de réfraction
- observation de la réfraction des ondes à la surface de l'eau sur un prisme (lignes de séparation rectilignes)
- observation de la réfraction des ondes à la surface de l'eau sur une lentille biconvexe (lignes de séparation courbes)
- observation de la réfraction des ondes à la surface de l'eau sur une lentille biconcave (lignes de séparation courbes)



Principes de base

Tant que la profondeur de l'eau n'est pas beaucoup plus grande que la longueur d'onde, la vitesse d'onde augmente avec la profondeur. La direction de propagation des ondes rectilignes change avec la vitesse d'onde lors du passage d'une zone à une autre de profondeur différente. On parle de réfraction; d'où la loi de réfraction (voir Fig. 7)

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

(α: angle d'incidence, β: angle de réfraction, λ_1: longueur d'onde dans la région 1, λ_2: longueur d'onde dans la région 2)

Pour l'observation on place une plaque à faces planes et parallèles dans la cuve à ondes remplie d'eau. Il y a apparition de régions de profondeurs différentes et donc de vitesses d'onde différentes.

La construction d'un prisme de déviation, d'une lentille biconvexe de focalisation, ou d'une lentille biconcave pour la divergence de faisceaux d'ondes, sont les applications pratiques de la réfraction.

Fig. 1 Réfraction des ondes à la surface de l'eau (photos)
En haut: réfraction des ondes à la surface de l'eau sur un prisme
Au milieu: marche des rayons convergente derrière une lentille biconvexe
En bas: marche des rayons divergente derrière une lentille biconcave

Matériel

1 cuve à ondes avec stroboscope à moteur . 401 501

en complément:

Liquide vaisselle,
feuilles transparentes, feutres pour transparents,
ruban adhésif, règle, rapporteur

Montage

Le montage expérimental est représenté en Fig. 2.

– monter la cuve à ondes sur une surface stable; se conformer à la notice d'utilisation de la cuve à ondes. Utiliser le niveau à bulles et vérifier que la plaque de verre soit horizontale. Ne pas encore remplir d'eau.
– placer la plaque en verre acrylique à faces planes et parallèles dans la cuve à ondes (voir Fig. 3). Remplir d'eau avec précaution jusqu'à 1 mm au dessus de la plaque.
– brancher l'excitateur d'ondes rectilignes et le placer devant la plaque à faces planes et parallèles (voir Fig. 3).
– fixer une feuille transparente avec le ruban adhésif sur l'écran **(g)**.

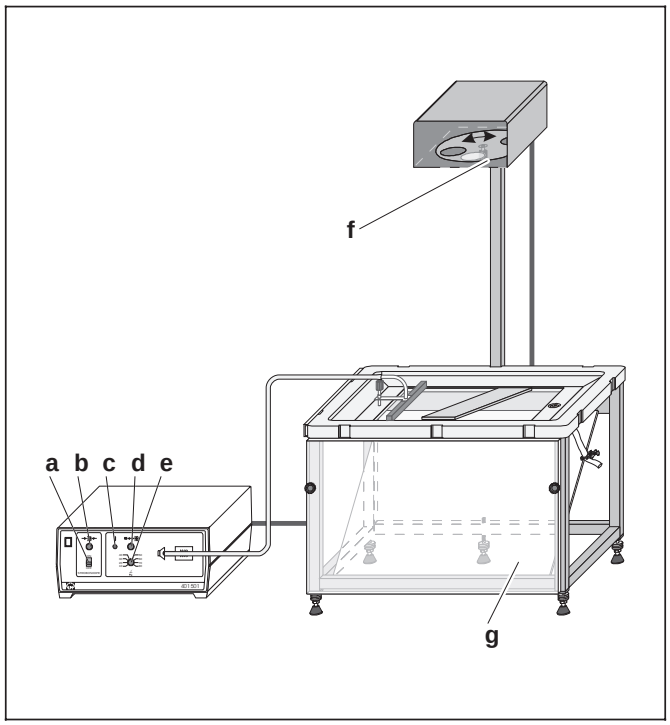
Réalisation

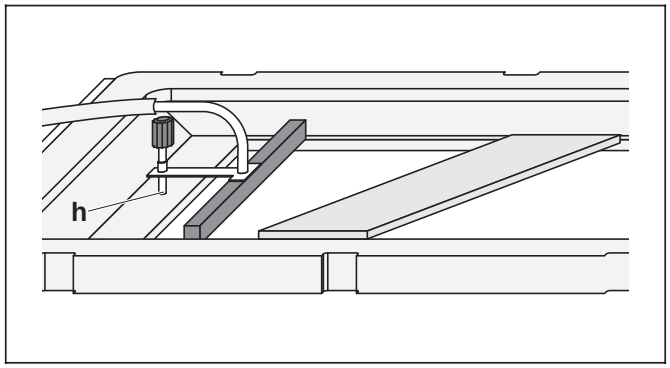
a) Réfraction d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur les arêtes de la plaque à faces planes et parallèles:

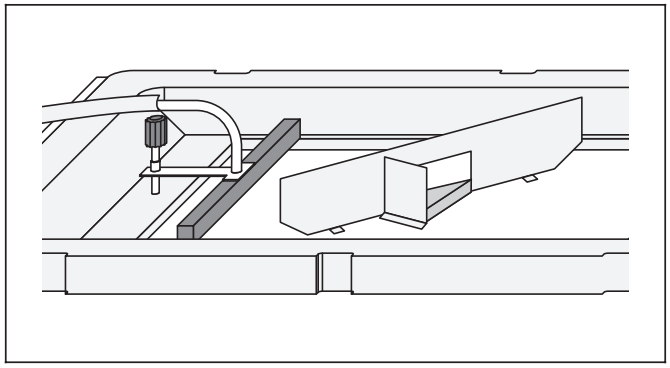
– éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, à l'aide de la vis moletée **(f)** , de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à ondes soit totalement éclairée.
– régler la fréquence à 20 Hz avec le bouton **(e)** et augmenter doucement l'amplitude d'excitation avec le bouton **(d)**, jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
– régler la profondeur d'immersion de l'excitateur avec la vis de réglage **(h)** si nécessaire.
– changer la profondeur de l'eau, s'il n'y a pas d'ondes nettes sur la plaque à faces planes et parallèles.
– comparer les directions de propagation (longueurs d'ondes) devant et sur la plaque à faces planes et parallèles.
– pour la comparaison quantitative des longueurs d'ondes et des directions de propagation, brancher le stroboscope avec l'interrupteur **(a)**, après un bref temps de démarrage régler la synchronisation des fréquences de l'excitateur et du stroboscope avec le bouton **(b)**, jusqu'à obtention d'une image d'ondes nette.
– marquer les arêtes de la plaque à faces planes et parallèles, la direction de propagation des ondes à la surface de l'eau devant et sur la plaque, et l'écart des fronts d'ondes sur la feuille transparente.
– représenter l'axe d'incidence et mesurer les angles d'incidence et de réfraction.
– mesurer les longueurs d'onde dans les deux régions. Mesurer également l'écart entre 2 fronts d'ondes sur l'écran **(g)**. Tenir compte de l'échelle d'affichage pour la détermination de la longueur d'onde (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
– comparer les angles d'incidence et de réfraction avec les longueurs d'onde correspondantes (voir tableau 1)
– régler différentes fréquences d'excitation entre 10 et 30 Hz. Mesurer les directions de propagation et les longueurs d'ondes comme plus haut, et les comparer.
– faire varier la direction de l'onde incidente en changeant la position de la plaque à faces planes et parallèles ou de l'excitateur d'ondes. Mesurer les directions de propagation et les longueurs d'onde comme plus haut, et les comparer.
– augmenter l'amplitude d'excitation avec le bouton **(d)**, jusqu'à ce que les ondes soient visibles derrière la plaque. Comparer la direction de l'onde réfractée deux fois avec la direction de l'onde initiale.
– refaire l'essai avec un paquet d'ondes. Eventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons. tourner le bouton d'amplitude **(d)** entièrement à gauche et actionner le bouton d'excitation d'onde unique **(c)**.

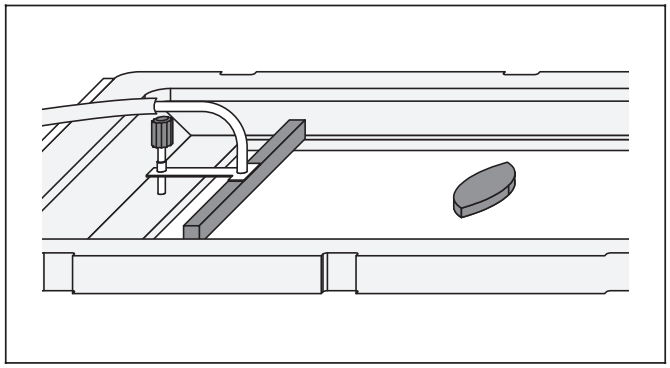
b) Réfraction d'ondes à la surface de l'eau sur un prisme:

– sortir la plaque à faces planes et parallèles et placer le prisme au milieu de la cuve à ondes (voir Fig. 4). Placer l'obstacle à grande fente sur le prisme. Couvrir le côté court du prisme avec le tiroir de recouvrement large. Fixer une feuille transparente sur l'écran **(g)**.
– éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, à l'aide de la vis moletée **(f)** , de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à ondes soit totalement éclairée.
– régler une fréquence de 20 Hz environ, augmenter doucement l'amplitude d'excitation, jusqu'à ce que les ondes soient nettement visibles derrière la lentille. Corriger le niveau d'eau si nécessaire.
– comparer les directions de propagation devant et derrière la lentille.
– produire une image d'onde stationnaire avec le stroboscope.
– régler différentes fréquences d'excitation entre 10 et 80 Hz. Adapter l'amplitude d'excitation si nécessaire. Comparer les directions de propagation comme plus haut.
– refaire l'essai avec un paquet d'ondes.
– observer la réfraction des ondes à la surface de l'eau pour différentes profondeurs. Ajouter de l'eau, régler une fréquence d'excitation de 20 Hz environ et réduire doucement la profondeur en évacuant de l'eau. Observer l'image d'ondes.
– remplacer la lentille biconvexe par la lentille biconcave et refaire l'expérience décrite plus haut.









c) Brechung von Wasserwellen an einer Bikonvexlinse und einer Bikonkavlinse:

– Prisma herausnehmen, Hindernis mit großem Spalt in die Mitte der Wellenwanne legen und Bikonvexlinse aus Kunststoff in den Spalt legen.

– Ggf. Stroboskopscheibe aus dem Strahlengang drehen, so daß die Glasscheibe im Boden der Wellenwanne vollständig ausgeleuchtet ist.

– Eine Frequenz von ca. 20 Hz einstellen die Amplitude der Erregung vorsichtig erhöhen, bis die Wellen hinter der Linse deutlich sichtbar sind. Evtl. Wasserstand korrigieren.

– Ausbreitungsrichtungen vor und hinter der Linse miteinander vergleichen.

– Mit Stroboskop stehendes Wellenbild erzeugen.

– Verschiedene Erregerfrequenzen zwischen 10 Hz und 80 Hz einstellen. Wenn nötig Erregeramplitude anpassen. Ausbreitungsrichtungen wie oben vergleichen.

– Versuch mit einem Wellenpaket wiederholen.

– Brechung der Wasserwellen bei verschiedenen Wassertiefen beobachten. Wasser hinzu gießen, eine Erregerfrequenz von ca. 20 Hz einstellen und durch Ablassen des Wassers Wassertiefe vorsichtig verringern. Wellenbild beobachten.

– Bikonvexlinse durch die Bikonkavlinse ersetzen und obige Versuchsschritte wiederholen.

Fig. 2 Montage expérimental pour la réfraction d'ondes à la surface de l'eau
- **a** interrupteur du stroboscope
- **b** bouton (réglage fin de la fréquence du stroboscope)
- **c** bouton poussoir (excitation d'ondes uniques)
- **d** bouton (réglage de l'amplitude de l'excitation d'ondes)
- **e** bouton (réglage de la fréquence de l'excitation d'ondes)
- **f** vis moletée (rotation manuelle du disque stroboscopique)
- **g** écran d'observation

Fig. 3 Branchement de l'excitateur d'ondes rectilignes et disposition de la plaque à faces planes et parallèles en verre acrylique
- **h** vis de réglage (réglage de la profondeur d'immersion)

Fig. 4 Disposition du prisme et de l'excitateur d'ondes rectilignes

Fig. 5 Disposition de la lentille et de l'excitateur d'ondes rectilignes

Exemple de mesure

a) Réfraction d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur les arêtes d'une plaque à faces planes et parallèles:

Tab. 1: résultats de mesures de la réfraction d'ondes à la surface de l'eau

α	β	$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$	$\frac{\lambda_1}{\text{cm}}$	$\frac{\lambda_2}{\text{cm}}$	$\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$
28°	15°	1,8	2,1	1,2	1,8
28°	18°	1,5	1,5	1,0	1,5
28°	24°	1,2	0,8	0,7	1,1

La Fig. 6 est une photo d'un exemple de mesure. La Fig. 7 montre le résultat schématique.

b) Réfraction d'ondes rectilignes sur un prisme et des lentilles:

Réfraction d'ondes rectilignes sur un prisme et des lentilles:

Résultats

a) Réfraction d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur les arêtes d'une plaque à faces planes et parallèles:

Le bord de la plaque à faces planes et parallèles représente une frontière entre les zones de profondeurs différentes, dans lesquelles la vitesse de propagation et la longueur d'onde changent. Les ondes sont plus lentes dans l'eau peu profonde et la longueur d'onde diminue.

La direction de propagation change lors du passage de l'eau profonde à l'eau peu profonde, et les ondes planes sont réfractées lors du passage vers l'axe d'incidence (passage du milieu peu dense vers le milieu plus dense).

La loi de réfraction s'applique:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\lambda_1 \cdot f}{\lambda_2 \cdot f} = \frac{v_1}{v_2}$$

α: angle d'incidence

β: angle de réfaction

f: fréquence d'excitation

λ_1,λ_2: longueurs d'onde dans les régions 1 et 2

v_1,v_2: vitesses dans les régions 1 et 2

La réfraction dépend de la fréquence d'excitation. Pour des fréquences d'excitation supérieures, l'onde est moins réfractée.

Lors du passage dans l'eau plus profonde, les ondes sont réfractées et s'écartent de l'axe perpendiculaire. Les directions de propagation devant et derrière la plaque à faces planes et parallèles sont les mêmes. Les valeurs des angles de réfraction des deux réfractions sont identiques.

b) Réfraction d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur un prisme:

La direction des ondes est influencée par la forme des corps. Les plaques à faces planes et parallèles provoquent un déplacement parallèle et les prismes dirigent les ondes dans une direction qui s'écarte de l'angle de réfraction.

Les fronts d'ondes derrière le prisme peuvent être perturbés par diffraction aux arêtes des prismes et par les interférences qui en découlent.

c) Réfraction d'ondes à la surface de l'eau sur les lentilles:

Les ondes sont réfractées au passage des lentilles.

Après avoir été réfractés par la lentille biconvexe, les rayons de direction, perpendiculaires aux fronts d'ondes, passent par un point (foyer). La distance entre le foyer et le centre de la lentille (distance focale) augmente lorsque la fréquence d'excitation et la profondeur augmentent.

Les rayons de direction sont écartés lors de la réfraction par la lentille biconcave, de telle sorte qu'ils semblent provenir d'un point devant la lentille.

Lorsque la fréquence d'excitation et la profondeur augmentent, les rayons de direction se rapprochent de l'ajustage initial.

Les ondes sont réfractées lorsqu'elles pénètrent et quittent la zone au-dessus des lentilles. La réfraction lors de l'entrée dans la zone n'est pas à prendre en compte.

Fig. 6 Réfraction d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur une plaque à faces planes et parallèles (photo)

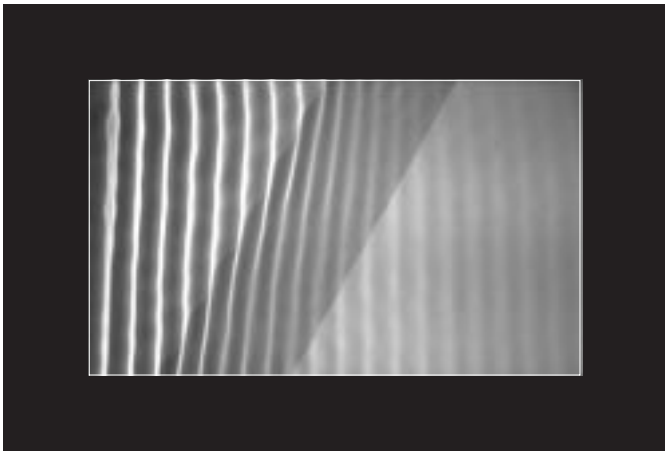
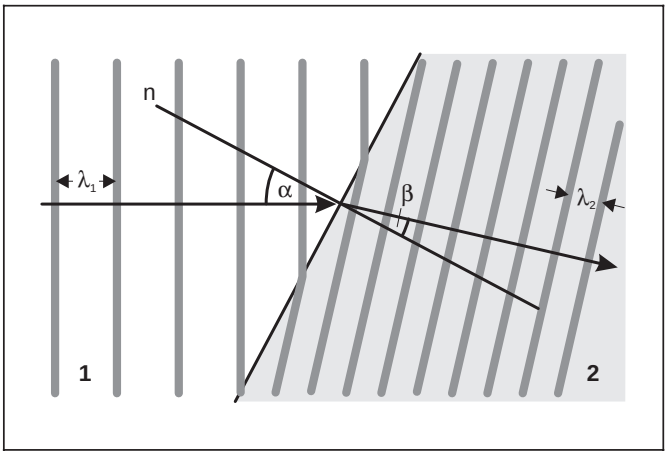


Fig. 7 Représentation de la réfraction sur une frontière plane
n: axe d'incidence
α: angle d'incidence (ici 28°)
β: angle de réfraction (ici 15°)
λ_1: longueur d'onde dans la région 1 (ici 2,1 cm)
λ_2: longueur d'onde dans la région 2 (ici 1,2 cm)



© by Leybold Didactic GmbH
Printed in the Federal Republic of Germany
Technical alterations reserved